

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-326943

(43)Date of publication of application : 08.12.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
H01L 33/00

(21)Application number : 09-285404

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 17.10.1997

(72)Inventor : NAGAHAMA SHINICHI
NAKAMURA SHUJI

(30)Priority

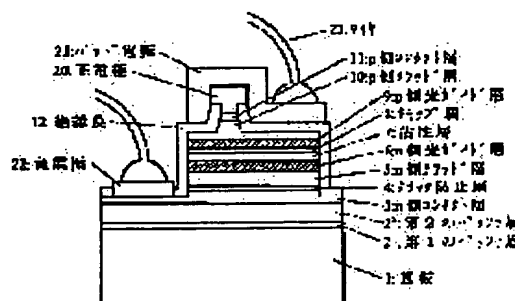
Priority number : 09 72540 Priority date : 26.03.1997 Priority country : JP

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the life of a laser element, by providing a second layer consisting of a nitride semiconductor where no p-type impurity is doped or a p-type impurity concentration is smaller than that of the first layer.

SOLUTION: A first buffer layer 2 is provided to relax the lattice mismatching between a substrate and a nitride semiconductor and is grown at a lower temperature than the second buffer layer 2'. The second buffer layer 2' is formed by a nitride semiconductor where no n-type impurity is doped or a nitride semiconductor where an n-type impurity concentration is smaller than that of an n-side contact layer 3. The layer 2' is formed at a higher temperature than the first buffer layer 2. The layer operates as a second buffer layer for growing the n-side contact layer 3 that operates as a contact layer, not as a contact layer where a negative electrode 22 is formed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.02.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 17.06.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3496480

[Date of registration] 28.11.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2003-13719

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 17.07.2003

【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層と、p型不純物がドーピングされた窒化物半導体よりなる第1の層との間に、p型不純物がドーピングされていないか、若しくはp型不純物濃度が第1の層よりも小さい窒化物半導体よりなる第2の層を有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 活性層と、n型不純物がドーピングされた窒化物半導体よりなる第3の層との間に、n型不純物がドーピングされていないか、若しくはn型不純物濃度が第3の層よりも小さい窒化物半導体よりなる第4の層を有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項3】 活性層と、p型不純物がドーピングされた窒化物半導体よりなる第1の層との間に、p型不純物がドーピングされていないか、若しくはp型不純物濃度が第1の層よりも小さい窒化物半導体よりなる第2の層を有し、さらに前記活性層と、n型不純物がドーピングされた窒化物半導体よりなる第3の層との間に、n型不純物がドーピングされていないか、若しくはn型不純物濃度が第3の層よりも小さい窒化物半導体よりなる第4の層を有することを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記活性層が、インジウムを含む窒化物半導体よりなる井戸層を有する単一量子井戸構造、若しくは多重量子井戸構造であることを特徴とする請求項1乃至3の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記第1の層と第2の層との間に、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ第2の層よりもバンドギャップエネルギーが小さい、p型不純物がドーピングされた膜厚0.5 μm 以下のアルミニウムを含む窒化物半導体よりなる第5の層を有することを特徴とする請求項1または請求項3に記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 前記第1の層がアルミニウムを含む窒化物半導体層を有する超格子構造であることを特徴とする請求項1または3に記載の窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記第3の層がアルミニウムを含む窒化物半導体層を有する超格子構造であることを特徴とする請求項2または3に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子、あるいはトランジスタ等の電子デバイスに使用される窒化物半導体(In_xAl_{1-x}Y_yGa_{1-x-y}N、0 ≤ x、0 ≤ y、x+y ≤ 1)素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 窒化物半導体は高輝度青色LED、純緑色LEDの材料として、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号等で最近実用化されたばかりである。これらの各種デバイスに使用されるLEDは、n型窒化物半

導体層とp型窒化物半導体層との間に、単一量子井戸構造(SQW: Single-Quantum-Well)のInGa_xNよりなる活性層を有するダブルヘテロ構造を有している。青色、緑色等の波長はInGa_xN活性層のIn組成比を増減することで決定されている。

【0003】 また、本出願人は、最近この材料を用いてパルス電流において、室温での410nmのレーザ発振を発表した(例えば、Appl.Phys.Lett., Vol.69, No.10, 2Sep. 1996, p.1477-1479)。このレーザ素子はサファイアA面上に、n型窒化物半導体層、活性層、p型窒化物半導体層が順に形成され、そのp型窒化物半導体層の一部にリッジストラップが形成された構造を有しており、例えばパルス電流(パルス幅1 μs 、パルス周期1ms、デューティ比0.1%)で、閾値電流187mA、閾値電流密度3kA/cm²において、410nmのレーザ光を発振する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 このように、窒化物半導体により世界最短波長の410nmのレーザ発振が確認されたため、DVD、光ファイバー通信等、多くの光デバイスの画期的な進歩が期待されている。しかしながら、窒化物半導体には未だ解決すべき課題も多く、実用化には未だ至っていない。

【0005】 その課題の一つに素子寿命の問題がある。一般にレーザ素子の劣化の原因としては、結晶欠陥の広がり、移動、反射面の破壊や表面状態の劣化、オーミック電極の劣化や、点欠陥の発生等が挙げられる。窒化物半導体の場合、元々がヘテロエピタキシャル成長であるため、その格子欠陥の数は他のGaAs、InGaAlP、GaAlAs等の材料に比べて桁違いに多い。にもかかわらず窒化物半導体LEDが十分実用に耐えているのは、結晶自体が他の材料に比べて、劣化要因に対して非常に強いからであると考えられている。しかし、レーザ素子はLEDよりも過酷な条件で素子が駆動されるため、劣化しにくい、丈夫な素子が求められる。

【0006】 従って、本発明の目的とするところは結晶欠陥の少ない窒化物半導体素子を実現して、窒化物半導体を用いたLED素子、レーザ素子、受光素子等の窒化物半導体デバイスの寿命を向上させて、信頼性の高い素子を実現することにある。具体的には結晶性の良い窒化物半導体レーザ素子を実現して、低閾値電流で発振させ、レーザ素子の寿命を向上させることにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明の窒化物半導体素子の第1の態様は、活性層と、p型不純物がドーピングされた窒化物半導体よりなる第1の層との間に、p型不純物がドーピングされていないか、若しくはp型不純物濃度が第1の層よりも小さい窒化物半導体よりなる第2の層を有することを特徴とする。なお第2の層のp型不純物は不純物拡散によって、p型不純物濃度が第1の層よりも少

なくなっているものも本発明の範囲内に含まれる。例えば第1の層と、第2の層とが接して形成された場合に、第1の層からの拡散によって第2の層にp型不純物が含まれてもよい。なお、第1の層はキャリア閉じ込め層として形成されていることが最も好ましい。p型不純物としてはMg、Zn、Cd、Be、Baのように周期律表第II族元素を挙げることができ、中でもMgが最も好ましい。

【0008】第2の態様は活性層と、n型不純物がドーブされた窒化物半導体よりなる第3の層との間に、n型不純物がドーブされていないか、若しくはn型不純物濃度が第3の層よりも小さい窒化物半導体よりなる第4の層を有することを特徴とする。なお、第4の層のn型不純物は不純物拡散によって、n型不純物濃度が第3の層よりも少なくなっているものも本発明の範囲内に含まれる。例えば第3の層と、第4の層とが接して形成された場合に、第3の層からの拡散によって第3の層にn型不純物が含まれてもよい。なお、第3の層はキャリア閉じ込め層として形成されていることが最も好ましい。n型不純物としては、例えばSi、Ge、Sn、C、Tiのように周期律表第IV族元素を挙げることができ、その中でもSi、Geが最も好ましい。

【0009】第3の態様は、活性層と、p型不純物がドーブされた窒化物半導体よりなる第1の層との間に、p型不純物がドーブされていないか、若しくはp型不純物濃度が第1の層よりも小さい窒化物半導体よりなる第2の層を有し、さらに前記活性層と、n型不純物がドーブされた窒化物半導体よりなる第3の層との間に、n型不純物がドーブされていないか、若しくはn型不純物濃度が第3の層よりも小さい窒化物半導体よりなる第4の層を有することを特徴とする。なお第1の態様、第2の態様と同じく、第3の態様においても、第1の層及び第3の層はキャリア閉じ込め層として形成されていることが最も好ましい。

【0010】本発明の第1の態様、第2の態様、及び第3の態様において、活性層が、インジウムを含む窒化物半導体よりなる井戸層を有する単一量子井戸構造(SQW: Single-Quantum-Well)、若しくは多重量子井戸構造(MQW: Multi-Quantum-Well)であることを特徴とする。

【0011】また、本発明の第1の態様、及び第3の態様において、第1の層と第2の層との間に、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつ第2の層よりもバンドギャップエネルギーが小さい、p型不純物がドーブされた膜厚0.5μm以下のアルミニウムを含む窒化物半導体よりなる第5の層を有することを特徴とする。これは第5の層が存在することにより、n層側から注入される電子が、この第5の層が障壁となって活性層内に閉じ込められることにより、素子のリーク電流を抑える効果がある。

【0012】本発明の第1の態様、及び第3の態様において、第1の層がアルミニウムを含む窒化物半導体層を有する超格子構造であることを特徴とする。超格子構造とは、互いに組成の異なる半導体層を弾性臨界膜厚以下の膜厚で複数層積層した構造であり、窒化物半導体層同士で超格子構造を作製する場合には、単位窒化物半導体層の膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは40オングストローム以下、10オングストローム以上に調整する。超格子構造の組み合わせとしては一方の層を $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < X \leq 1$) として、もう一方の層を $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq Y < 1, X > Y$) 若しくは $In_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq Z \leq 1$) とすることが望ましい。なお、本明細書において示す $In_xGa_{1-x}N$ 、 $Al_yGa_{1-y}N$ 等の一般式は、単に窒化物半導体の一般式を示すものに過ぎず、例えば異なる層が同一の一般式で示されているもの、それらの層のX値、Y値等の数値が一致しているものでは決していない。

【0013】第2の態様及び第3の態様において、第3の層がアルミニウムを含む窒化物半導体層を有する超格子構造であることを特徴とする。同じく超格子構造の組み合わせとしては一方の層を $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < X \leq 1$) として、もう一方の層を $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq Y < 1, X > Y$) 若しくは $In_zGa_{1-z}N$ ($0 \leq Z \leq 1$) とすることが望ましい。

【0014】

【発明の実施の形態】図1に本発明の窒化物半導体素子の具体例を示す模式断面図を示す。これはレーザ素子の構造を示すものであり、レーザ光の共振方向に垂直な位置で素子を切断した際の構造を示すものである。

【0015】(基板1) 基板1には、サファイアC面の他、R面、A面を主面とするサファイア、その他、スピネル($MgAl_2O_4$)のような絶縁性の基板の他、SiC(6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0016】(第1のバッファ層2) 第1のバッファ層2は、基板と窒化物半導体の格子不整を緩和するために設けられるものであり、第2のバッファ層3よりも低温(通常は300℃以上、900℃以下)で成長され、0.5μm未満、好ましくは0.1μm以下の膜厚で成長される。第1のバッファ層はAlN、GaN、AlGaNが成長されるが、窒化物半導体の成長方法、基板の種類等によっては省略することも可能である。

【0017】(第2のバッファ層2') 第2のバッファ層2'はn型不純物がドーブされていない(以下、不純物がドーブされていない状態をアンドープ(undope)という。)窒化物半導体、若しくはn型不純物濃度がn側コンタクト層3よりも小さい窒化物半導体で形成する。成長温度は第1のバッファ層2よりも高温で成長させ、通常900℃以上で成長させる。この層は、負電極22

が形成されるコンタクト層としてではなく、コンタクト層として作用するn側コンタクト層3を成長させるための第2のバッファ層として作用している。従来のように電流注入層となるn側コンタクト層3を数 μm 以上の膜厚で、高キャリア濃度の単一の窒化物半導体層で構成しようとすると、n型不純物濃度の大きい層を成長させる必要がある。不純物濃度の大きい厚膜の層は結晶性が悪くなる傾向にある。このため結晶性の悪い層の上に、活性層等の他の窒化物半導体を成長させても、結晶欠陥を他の層が引き継ぐことになって結晶性の向上が望めない。そこでn側コンタクト層3を成長させる前に、不純物濃度が小さい、結晶性の良い第2のバッファ層2'を成長させることにより、キャリア濃度が大きく結晶性の良いn側コンタクト層3を成長させることができる。第2のバッファ層2'の膜厚は0.1 μm 以上、さらに好ましくは0.5 μm 以上、最も好ましくは1 μm 以上、20 μm 以下に調整することが望ましい。第1の層が0.1 μm よりも薄いと、不純物濃度の大きいn側コンタクト層3を厚く成長させなければならないので、n側コンタクト層3の結晶性の向上があまり望めない傾向にある。また20 μm よりも厚いと、第2のバッファ層2'自体に結晶欠陥が多くなりやすい傾向にある。また第2のバッファ層2'を厚く成長させる利点として、放熱性の向上が挙げられる。つまりレーザ素子を作製した場合に、第2のバッファ層2'で熱が広がりやすくレーザ素子の寿命が向上する。さらにレーザ光の漏れ光が第2のバッファ層2'の層内で広がって、楕円形に近いレーザ光が得やすくなる。なお、本発明においてアンドープといっても、原料ガス中に含まれる元素による不純物、例えばC、O等の意図的でない不純物は窒化物半導体層中には常時含まれている。従って、C、Oの原料ガス中から意図しない不純物が入った状態でも本発明ではアンドープという。

【0018】(n側コンタクト層3) n側コンタクト層3はn型不純物をドーブした $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) で構成し、その組成は特に問うものではないが、好ましくはn型 GaN 、若しくはY値が0.1以下の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ とすると負電極22と良好なオーミックが得られやすい。n型不純物濃度は $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲、さらに好ましくは、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ に調整することが望ましい。1 $\times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも小さいとn電極の材料と好ましいオーミックが得られにくくなるので、レーザ素子では閾値電流、電圧の低下が望めず、 $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ よりも大きいと、素子自体のリーク電流が多くなったり、また結晶性も悪くなるため、素子の寿命が短くなる傾向にある。なお、n側コンタクト層3の膜厚は第2のバッファ層2'よりも薄く形成することが望ましい。n側コンタクト層3は0.2 μm 以上、4 μm 以下に調整することが望ましい。0.2 μm よりも薄

いと、負電極22を形成する際に、第2の層を露出させるようにエッチングレートを制御するのが難しく、一方、4 μm 以上にすると不純物の影響で結晶性が悪くなる傾向にある。また、このn側コンタクト層3を、例えば $\text{InGaN} / \text{InGaN}$ (但しIn組成比は異なる。)、 $\text{InGaN} / \text{GaN}$ 、 $\text{InGaN} / \text{AlGa}$ 、 AlGa / GaN 等の組み合わせによる超格子構造としても良い。なお、n側コンタクト層3は基板1に GaN のような導電性基板を使用して、基板側に負電極を設けた場合にはコンタクト層としては作用せず、バッファ層として作用する。

【0019】(クラック防止層4) クラック防止層4はInを含むn型の窒化物半導体、好ましくは InGaN で成長させることにより、次から成長させる窒化物半導体層、特にAlを含む窒化物半導体層中にクラックが入るのを防止することができる。このクラック防止層は100オングストローム以上、0.5 μm 以下の膜厚で成長させることが好ましい。100オングストロームよりも薄いと前記のようにクラック防止として作用しにくく、0.5 μm よりも厚いと、結晶自体が黒変する傾向にある。なお、このクラック防止層4は成長方法、成長装置等の条件によっては省略することもできる。またクラック防止層はn型不純物をドーブしても良いし、またアンドープでも良い。n型不純物濃度は $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲、さらに好ましくは、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ に調整することが望ましい。

【0020】(n側クラッド層5=第3の層) n側クラッド層5はキャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、n型不純物をドーブした少なくともAlを含む窒化物半導体層で形成し、望ましくは、本発明の請求項7に記載したように、Alを含む窒化物半導体層を有する超格子構造とする。n型不純物濃度は $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲、さらに好ましくは、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ に調整することが望ましい。n側クラッド層5全体の膜厚は100オングストローム以上、2 μm 以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1 μm 以下で成長させることが望ましい。

【0021】n側クラッド層5を超格子構造とする場合、超格子層を構成する窒化物半導体層は互いに組成が異なる窒化物半導体で構成されていれば良く、バンドギャップエネルギーが異なっても、同一でもかまわない。例えば超格子層を構成する最初の層(A層)を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) で構成し、次の層(B層)を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y \leq 1$) で構成すると、B層のバンドギャップエネルギーが必ずA層よりも大きくなるが、A層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) で構成し、B層を $\text{In}_z\text{Al}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z \leq 1$) で構成すれば、A層とB層とは組成が異なるが、バンドギャップエネルギー

(5)

7

が同一の場合もあり得る。またA層を $Al_{1-x}Ga_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$)で構成し、B層を $In_{1-z}Al_{1-z}N$ ($0 < z \leq 1$)で構成すれば、同様にA層とB層とは組成が異なるがバンドギャップエネルギーが同一の場合もあり得る。超格子層はAlを含む窒化物半導体層を有していれば良く、組成が異なってバンドギャップエネルギーが同じ構成でも良い。超格子層を構成する各窒化物半導体層の膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは10オングストローム以上、40オングストローム以下の範囲に調整する。100オングストロームよりも厚いと弾性歪み限界以上の膜厚となり、膜中に微少なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすい傾向にある。井戸層、障壁層の膜厚の下限は特に限定せず1原子層以上であればよいが10オングストローム以上に調整することが望ましい。このように、単一膜厚が100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは40オングストローム以下の互いに組成の異なる窒化物半導体層を積層成長させた超格子構造とすると、単一の窒化物半導体層の膜厚が弾性臨界膜厚以下となつて、結晶性が非常に良くなり、容易に室温で連続発振する。

【0022】さらに、超格子層を構成するA層、B層の窒化物半導体はバンドギャップエネルギーが異なるものを積層することが望ましく、超格子層を構成する窒化物半導体の平均バンドギャップエネルギーを活性層よりも大きくするように調整することが望ましい。好ましくは一方の層を $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$)とし、もう一方の層を $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 < y \leq 1$)で構成することにより、結晶性のよい超格子層を形成することができる。また、 $AlGaIn$ は結晶成長中にクラックが入りやすい性質を有している。そこで、超格子層を構成するA層を膜厚100オングストローム以下のAlを含まない窒化物半導体層とすると、Alを含む窒化物半導体よりももう一方のB層を成長させる際のバッファ層として作用し、B層にクラックが入りにくくなる。そのため超格子層を積層してもクラックのない超格子を形成できるので、結晶性が良くなり、素子の寿命が向上する。これもまた一方の層を $In_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x \leq 1$)とし、もう一方の層を $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 < y \leq 1$)、とした場合の利点である。

【0023】さらに超格子を構成する窒化物半導体に不純物をドーピングする場合、n型不純物はA層、B層両方の層にドーピングすることは言うまでもないが、好ましくバンドギャップエネルギーの大きな方の層に多くドーピングするか、またはバンドギャップエネルギーの小さな方をアンドーピングとして、バンドギャップエネルギーの大きな方にn型不純物をドーピングする方が、閾値電圧、閾値電流が低下しやすい傾向にある。

【0024】さらに、このn側クラッド層のA層とB層

とのn型不純物濃度が異なる。これはいわゆる変調ドーピングと呼ばれるもので、一方の層のn型不純物濃度を小さく、好ましくは不純物をドーピングしない状態（アンドープ）として、もう一方を高濃度にドーピングすると、閾値電圧、 V_f 等を低下させることができる。これは不純物濃度の低い層を超格子層中に存在させることにより、その層の移動度が大きくなり、また不純物濃度が高濃度の層も同時に存在することにより、キャリア濃度が高いまま超格子層が形成できることによる。つまり、不純物濃度が低い移動度の高い層と、不純物濃度が高いキャリア濃度が大きい層とが同時に存在することにより、キャリア濃度が大きく、移動度も大きい層がクラッド層となるために、閾値電圧、 V_f が低下すると推察される。

【0025】バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層に高濃度に不純物をドーピングした場合、この変調ドーピングにより高不純物濃度層と、低不純物濃度層との間に二次元電子ガスができ、この二次元電子ガスの影響により抵抗率が低下すると推察される。例えば、n型不純物がドーピングされたバンドギャップの大きい窒化物半導体層と、バンドギャップが小さいアンドープの窒化物半導体層とを積層した超格子層では、n型不純物を添加した層と、アンドープの層とのヘテロ接合界面で、障壁層側が空乏化し、バンドギャップの小さい層側の厚さ前後の界面に電子（二次元電子ガス）が蓄積する。この二次元電子ガスがバンドギャップの小さい側にできるので、電子が走行するときに不純物による散乱を受けないため、超格子の電子の移動度が高くなり、抵抗率が低下する。なおp側の変調ドーピングも同様に二次元正孔ガスの影響によると推察される。またp層の場合、 $AlGaIn$ は GaN に比較して抵抗率が高い。そこで $AlGaIn$ の方にp型不純物を多くドーピングすることにより抵抗率が低下するために、超格子層の実質的な抵抗率が低下するので素子を作製した場合に、閾値が低下する傾向にあると推察される。

【0026】一方、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層に高濃度に不純物をドーピングした場合、以下のような作用があると推察される。例えば $AlGaIn$ 層と GaN 層にMgを同量でドーピングした場合、 $AlGaIn$ 層ではMgのアクセプター準位の深さが大きく、活性化率が小さい。一方、 GaN 層のアクセプター準位の深さは $AlGaIn$ 層に比べて浅く、Mgの活性化率は高い。例えばMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしても GaN では $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 程度のキャリア濃度であるのに対し、 $AlGaIn$ では $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 程度のキャリア濃度しか得られない。そこで、本発明では $AlGaIn/GaN$ とて超格子とし、高キャリア濃度が得られる GaN 層の方に多く不純物をドーピングすることにより、高キャリア濃度の超格子が得られるものである。しかも超格子としているため、トンネル効果でキャリアは不純物濃度の少ない $AlGaIn$ 層を移動するため、実質的にキャリア

はAlGaIn層の作用は受けず、AlGaIn層はバンドギャップエネルギーの高いクラッド層として作用する。従って、バンドギャップエネルギーの小さな方の窒化物半導体層に不純物を多くドーピングしても、レーザ素子、LED素子の閾値を低下させる上で非常に効果的である。なおこの説明はp型層側に超格子を形成する例について説明したが、n層側に超格子を形成する場合においても、同様の効果がある。

【0027】バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層にn型不純物を多くドーピングする場合、バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層への好ましいドーピング量としては、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも少ないと、バンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層との差が少なくなると、キャリア濃度の大きい層が得られにくい傾向にあり、また $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ よりも多いと、素子自体のリーク電流が多くなりやすい傾向にある。一方、バンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層のn型不純物濃度はバンドギャップエネルギーの大きい窒化物半導体層よりも少なければ良く、好ましくは $1/10$ 以上少ない方が望ましい。最も好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られるが、膜厚が薄い場合、バンドギャップエネルギーの大きい窒化物半導体側から拡散してくるn型不純物があり、その量は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。n型不純物としてはSi、Ge、Se、S、O等の周期律表第IVB族、VIB族元素を選択し、好ましくはSi、Ge、Sをn型不純物とする。この作用は、バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層にn型不純物を少なくドーピングして、バンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体層にn型不純物を多くドーピングする場合と同様である。以上、超格子層に不純物を好ましく変調ドーピングする場合について述べたが、バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体層との不純物濃度を等しくすることもできる。

【0028】(n側光ガイド層6=第4の層)ここで本発明の特徴である第4の層について述べる。n側光ガイド層6は、活性層の光ガイド層として作用し、活性層7よりもバンドギャップエネルギーが大きく、n側クラッド層5よりもバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層で構成し、好ましくは $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$)で形成する。n側光ガイド層6は通常100オングストローム $\sim 5 \mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム $\sim 1 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させることが望ましい。レーザ素子の場合、n側光ガイド層6を不純物をドーピングしないアンドープの層とする。アンドープの層は不純物をドーピングした層と比較して、結晶欠陥を少なく成長させる。このため、活性層を成長させる前にアンドープ層を設けることにより、アンドープ層の上に成長させる

活性層の結晶性も良くなるために、レーザ素子が長寿命となる。さらに窒化物半導体のアンドープの層は、不純物をドーピングした層と比較して光の吸収が少ない。そのため活性層の発光が、ほとんど吸収されずにクラッド層で閉じ込められて、この光ガイド層で吸収されずに導波されるため低閾値で発振する。このn側光ガイド層6はアンドープの層が最も好ましいが、n側クラッド層5から拡散してくるn型不純物を含んでいても良い。

【0029】(活性層7)活性層7は、Inを含む窒化物半導体よりなる井戸層を有するSQW、若しくはMQWとする。井戸層は例えば $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$)で構成することが望ましい。井戸層の好ましい膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下に調整する。MQWでは、井戸層の膜厚範囲はSQWの場合と同じであるが、障壁層は井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体、例えば $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y < 1, x > y$)若しくは、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 < a \leq 1$)で構成することが望ましい。障壁層の好ましい膜厚は150オングストローム以下、さらに好ましくは100オングストローム以下、最も好ましくは70オングストローム以下に調整する。なお、本発明の素子をLEDに適用する場合、Vf(順方向電圧)を低下させるためには、活性層はSQWか、若しくは井戸層が5以下のMQWにすることが望ましい。また活性層に不純物をドーピングする場合には、井戸層、障壁層両方にドーピングしても良く、いずれか一方にドーピングしてもよい。

【0030】(p側キャップ層8=第5の層)p側キャップ層8はバンドギャップエネルギーが大きく、さらにp側光ガイド層9よりもバンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層を、0.1 μm 以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下の膜厚で形成する。0.1 μm より厚い膜厚で成長させると、p側キャップ層8中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。またキャリアがこのエネルギーバリアをトンネル効果により通過できなくなる傾向にある。窒化物半導体としてはAlを含む窒化物半導体、好ましくは $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y \leq 1$)で形成し、例えば、Y値が0.2以上の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ であれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層8の膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。このp型キャップ層にドーピングする不純物はp型不純物が望ましいが、膜厚が薄い場合、n型不純物をドーピングしてキャリアが補償されたi型としても良く、またアンドープでも良いが、最も好ましくはp型不純物をドーピングしたp型半導体とする。

【0031】(p側光ガイド層9=第2の層)p側光ガ

イド層9はn側光ガイド層6と同じく、活性層の光ガイド層として作用し、活性層7よりもバンドギャップエネルギーが大きく、p側クラッド層10よりもバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層で構成し、好ましくは $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) で形成する。同じくp側光ガイド層9も通常100オングストローム～5 μm 、さらに好ましくは200オングストローム～1 μm の膜厚で成長させることが望ましい。このp側光ガイド層9はアンドープの層とする。p側光ガイド層9をアンドープとすることにより、n側光ガイド層6と同じく結晶欠陥が少ない層が成長できるので、このアンドープ層の上に成長させるp側クラッド層10の結晶性を良くする。さらに活性層の発光がこの光ガイド層で吸収されずに導波されるため低閾値で発振する。このp側光ガイド層9はアンドープの層が最も好ましいが、p側クラッド層10、p側キャップ層8から拡散するp型不純物を含んでいても良い。

【0032】(p側クラッド層10=第1の層) p側クラッド層10も、n側クラッド層5と同じく、キャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、p型不純物をドーピングした少なくともA1を含む窒化物半導体層で形成し、望ましくは、本発明の請求項6に記載したように、A1を含む窒化物半導体層を有する超格子構造とする。p型不純物濃度は $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲、さらに好ましくは、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ に調整することが望ましい。p側クラッド層10全体の膜厚は100オングストローム以上、2 μm 以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1 μm 以下で成長させることが望ましい。

【0033】p側クラッド層10を超格子構造とする場合も、n側クラッド層5と同じく、超格子層を構成する窒化物半導体層は互いに組成が異なる窒化物半導体で構成されていれば良く、バンドギャップエネルギーが異なっている、同一でもかまわない。また、超格子層はA1を含む窒化物半導体層を有していれば良く、組成が異なるとバンドギャップエネルギーが同じ構成でも良い。超格子層を構成する各窒化物半導体層の膜厚は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは10オングストローム以下、40オングストローム以下の範囲に調整する。

【0034】さらに、超格子層を構成する窒化物半導体はバンドギャップエネルギーが異なるものを積層することが望ましく、超格子層を構成する窒化物半導体の平均バンドギャップエネルギーを活性層よりも大きくするように調整することが望ましい。好ましくは一方の層を $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$) とし、もう一方の層を $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y \leq 1$) で構成することにより、結晶性のよい超格子層を形成することができる。

【0035】p側クラッド層17の超格子層のA層とB層とのp型不純物濃度が異なり、一方の層の不純物濃度

を大きく、もう一方の層の不純物濃度を小さくする(変調ドーピング)。n側クラッド層と同様に、バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層の方のp型不純物濃度を大きくして、バンドギャップエネルギーの小さなp型不純物濃度を小さく、好ましくはアンドープとすると、閾値電圧、 V_f 等を低下させることができる。またその逆でも良い。つまりバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層のp型不純物濃度を小さくして、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層のp型不純物濃度を大きくしても良い。理由は先に述べたとおりである。

【0036】バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層への好ましいドーピング量としては $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ よりも少ないと、同様にバンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層との差が少なくなって、同様にキャリア濃度の大きい層が得られにくい傾向にあり、また $5 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ よりも多いと、結晶性が悪くなる傾向にある。一方、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層のp型不純物濃度はバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層よりも少なければ良く、好ましくは $1/10$ 以上少ない方が望ましい。最も好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られるが、膜厚が薄いため、バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体側から拡散してくるp型不純物があり、その量は $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。p型不純物としてはMg、Zn、Ca、Be等の周期律表第IIA族、IIB族元素を選択し、好ましくはMg、Ca等をp型不純物とする。この作用は、バンドギャップエネルギーが大きい窒化物半導体層にp型不純物を少なくドーピングして、バンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体層にp型不純物を多くドーピングする場合も同様である。

【0037】さらにまた超格子を構成する窒化物半導体層において、不純物が高濃度にドーピングされる層は、厚さ方向に対し、半導体層中心部近傍の不純物濃度が大きく、両端部近傍の不純物濃度が小さく(好ましくはアンドープ)することが望ましい。具体的に説明すると、例えばn型不純物としてSiをドーピングした AlGaIn と、アンドープの GaN 層とで超格子層を形成した場合、 AlGaIn はSiをドーピングしているのでドナーとして電子を伝導帯に出すが、電子はポテンシャルの低い GaN の伝導帯に落ちる。 GaN 結晶中にはドナー不純物をドーピングしていないので、不純物によるキャリアの散乱を受けない。そのため電子は容易に GaN 結晶中を動くことができ、実質的な電子の移動度が高くなる。これは前述した二次元電子ガスの効果と類似しており、電子横方向の実質的な移動度が高くなり、抵抗率が小さくなる。さらに、バンドギャップエネルギーの大きい AlGaIn の中心領域にn型不純物を高濃度にドーピングすると効果はさら

に大きくなる。即ちGa_{1-x}N中を移動する電子によっては、AlGa_{1-x}N中に含まれるn型不純物イオン（この場合Si）の散乱を多少とも受ける。しかしAlGa_{1-x}N層の厚さ方向に対して両端部をアンドープとするとSiの散乱を受けにくくなるので、さらにアンドープGa_{1-x}N層の移動度が向上するのである。作用は若干異なるが、p層側のバンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層とで超格子を構成した場合も類似した効果があり、バンドギャップエネルギーの大きい窒化物半導体層の中心領域に、p型不純物を多くドーピングし、両端部を少なくするか、あるいはアンドープとすることが望ましい。一方、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層にn型不純物を多くドーピングした層を、前記不純物濃度の構成とすることもできる。超格子層は、少なくともp側層にあることが好ましく、p側層に超格子層があるとより閾値が低下し好ましい。

【0038】本発明のように、量子構造の井戸層を有する活性層を有するダブルヘテロ構造の半導体素子の場合、その活性層7に接して、活性層7よりもバンドギャップエネルギーが大きい膜厚0.1μm以下の窒化物半導体よりなるキャップ層8、好ましくはAlを含む窒化物半導体よりなるp側キャップ層8を設け、そのp側キャップ層8よりも活性層から離れた位置に、p側キャップ層8よりもバンドギャップエネルギーが小さい、アンドープのp側光ガイド層9を設け、そのp側光ガイド層9よりも活性層から離れた位置に、p側光ガイド層9よりもバンドギャップが大きい窒化物半導体、好ましくはAlを含む窒化物半導体を含む超格子構造を有するp側クラッド層10を設けることは非常に好ましい。しかもp側キャップ層8の膜厚を0.1μm以下と薄く設定して、極端にバンドギャップエネルギーを大きくしてあるため、n層から注入された電子が、このp型キャップ層8で阻止されて閉じ込められ、電子が活性層をオーバーフローしないために、素子のリーク電流が少なくなる。

【0039】（p側コンタクト層11）p側コンタクト層11はp型のIn_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N（0≤x、0≤y、x+y≤1）で構成することができ、好ましくはMgをドーピングしたGa_{1-x}N、若しくはMgをドーピングしたY値が0.1以下のAl_{1-x}Ga_{1-y}Nとすれば、正電極20と最も好ましいオーミック接触が得られる。p側コンタクト層20の膜厚は500オングストローム以下、さらに好ましくは300オングストローム以下、最も好ましくは200オングストローム以下に調整することが望ましい。なぜなら、抵抗率が高いp型窒化物半導体層の膜厚を500オングストローム以下に調整することにより、さらに抵抗率が低下するため、閾値での電流、電圧が低下する。またアニール時にp型層から除去される水素が多くなって抵抗率が低下しやすい傾向にある。さらに、このp側コンタクト層11を薄くする効果には、次のよ

うなことがある。例えば、p型AlGa_{1-x}Nよりなるp側クラッド層に、膜厚が500オングストロームより厚いp型Ga_{1-x}Nよりなるp側コンタクト層が接して形成されており、仮にクラッド層とコンタクト層の不純物濃度が同じで、キャリア濃度が同じである場合、p側コンタクト層の膜厚を500オングストロームよりも薄くすると、クラッド層側のキャリアがコンタクト層側に移動しやすくなって、p側コンタクト層のキャリア濃度が高くなる傾向にある。そのため正電極20を形成するp側コンタクト層11のキャリア濃度が実質的に高くなって、良好なオーミックが得られる。

【0040】

【実施例】以下、図1を元に本発明の実施例を説明する。以下の実施例はMOVPEによるものであるが本発明の素子はMOVPEだけではなく、例えばMBE（分子線気相成長法）、HVPE（ハライド気相成長法）等、窒化物半導体を成長させるのに知られている従来の方法を用いることができる。

【0041】【実施例1】サファイア（C面）よりなる基板1を反応容器内にセットし、容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。

【0042】（第1のバッファ層2）続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）とを用い、基板1上にGa_{1-x}Nよりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0043】（第2のバッファ層2'）バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープのGa_{1-x}Nを4μmの膜厚で成長させる。

【0044】（n側コンタクト層3）続いて、原料ガスにTMG、アンモニア、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型Ga_{1-x}Nよりなるn側コンタクト層3を2μmの膜厚で成長させる。

【0045】（クラック防止層4）次に、温度を800℃にして、原料ガスにTMG、TMI（トリメチルインジウム）、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーピングしたIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなるクラック防止層4を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0046】（n側クラッド層5）次に温度を1050℃にして、原料ガスにTMA（トリメチルアルミニウム）、TMG、NH₃、SiH₄を用い、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型Al_{0.20}Ga_{0.80}NよりなるA層を20オングストロームと、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーピングしたn型Ga_{1-x}NよりなるB層を20オングストローム成長させる。そしてこのペアを125回成長させ、

総膜厚0.5 μ m(5000オングストローム)の超格子構造よりなるn側クラッド層5を成長させる。

【0047】(n側光ガイド層6)不純物ガスを止め、1050℃でアンドープGaNよりなるn側光ガイド層6を0.2 μ mの膜厚で成長させる。

【0048】(活性層7)次に、原料ガスにTMG、TMI、アンモニア、シランガスを用いて活性層7を成長させる。活性層7は温度を800℃に保持して、まずSiを $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ でドーピングしたIn0.2Ga0.8Nよりなる井戸層を25オングストロームの膜厚で成長させる。次にTMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、Siを $8 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーピングしたIn0.01Ga0.95Nよりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返し、最後に井戸層を積層した多重量子井戸構造とする。

【0049】(p側キャップ層8)次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al0.1Ga0.9Nよりなるp側キャップ層8を300オングストロームの膜厚で成長させる。

【0050】(p側光ガイド層9)不純物ガスを止め、1050℃で、アンドープGaNよりなるp側光ガイド層9を0.2 μ mの膜厚で成長させる。

【0051】(p側クラッド層10)続いて1050℃で、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al0.2Ga0.8NよりなるA層を20オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型GaNよりなるB層を20オングストローム成長させる。そしてこのペアを125回成長させ、総膜厚0.5 μ m(5000オングストローム)の超格子構造のp側クラッド層10を成長させる。

【0052】(p側コンタクト層11)最後に、p側クラッド層10の上に、1050℃でMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型GaNよりなるp側コンタクト層11を150オングストロームの膜厚で成長させる。

【0053】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0054】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、RIE装置でエッチングを行い、図1に示すように最上層のp側コンタクト層11と、p側クラッド層10とをエッチングして、4 μ mのストライプ幅を有するリッジストライプを形成する。リッジストライプを形成する際は、予めストライプ幅の中心が後に形成する負電極22に接近しているように設計する。リッジストライプを形成する場合、特に活性層より上にあるAlを含むp型窒化物半導体層以上の層をリッジ形状とすることにより、活性層の発光がリッジ下部に集中して、横

モードが単一化しやすく、閾値が低下しやすい。また本実施例のように、絶縁性基板を使用した場合には、リッジ部のストライプの中央を活性層のストライプの中央とずらして、負電極22側に接近させる方が閾値を低下させる上で好ましい。

【0055】次に、リッジストライプの表面と、露出しているp側クラッド層10の表面とにマスクを形成し、同じくRIEでエッチングを行い、図1に示すように負電極22を形成すべきn側コンタクト層3の表面を露出させる。表面露出後、図1に示すように、最上層にあるp側コンタクト層11のリッジストライプの最上層全面に、Ni/Auよりなる正電極20を、500オングストロームの膜厚で形成する。

【0056】次に、先ほど露出させたn側コンタクト層3表面に、TiとAlよりなる負電極22をリッジストライプと平行に0.5 μ mの膜厚で形成する。なお、n側コンタクト層3と好ましいオーミックが得られる負電極22の材料としては、Al、Ti、W、Cu、Zn、Sn、In等の金属若しくは合金を挙げることができる。

【0057】次に、正電極20及び負電極22を形成した位置を除く窒化物半導体層の表面全面にSiO₂よりなる絶縁膜12を0.5 μ mの膜厚で形成する。絶縁膜12形成後、正電極20の上にその正電極20と電気的に接続したRuとAuとを含む取出用のパッド電極21を、絶縁膜12を介して、正電極の表面積よりも広い面積で、2 μ mの膜厚で形成する。パッド電極21はp側コンタクト層11とオーミック接触が得られていなくても良く、単に正電極20と電気的に接続するだけでよい。パッド電極21は、正電極20よりも膜厚を厚くして、正電極の剥がれを防止すると共に、表面積を正電極よりも大きくしてあるため、本実施例のようなレーザ素子のような場合には、正電極側にパッド電極からワイヤーボンディングするのを容易にすると共に、また正電極側をヒートシンク、サブマウントのような放熱体に接続する際に、接着面積を大きくして放熱性を向上させる。

【0058】以上のようにして、負電極22と正電極20とを形成したウェーハを研磨装置に移送し、ダイヤモンド研磨剤を用いて、窒化物半導体を形成していない側の基板1をラッピングし、基板の厚さを100 μ mとする。ラッピング後、さらに細かい研磨剤で1 μ mポリッシングして基板表面を鏡面状とする。このように基板の厚さを100 μ m以下に薄くすることによって、レーザ素子の放熱性が高まる。

【0059】基板研磨後、研磨面側をスクライブして、リッジストライプに垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面に共振器長500 μ mの共振器を作製する。さらに共振器面にSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にリッジストライプに平行な方向で、バーを切断してレーザチップとする。

【0060】最後に、このレーザチップをフェースアップ（基板とヒートシンクとが対向した状態）でヒートシンクに設置し、それぞれの電極を金線よりなるワイヤー28でボンディングする。なおワイヤーボンディング時の位置は、図2に示すようにリッジストライプの位置から離れた位置とする。リッジストライプの真上を避けることにより、リッジ部に衝撃を与えないので、リッジ部の結晶が破壊されない。そして、このレーザチップのレーザ発振を試みたところ、室温において、発振波長405nmの連続発振が確認された。なお本発明のレーザ素子は、n側光ガイド層にSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープし、さらにp側光ガイド層9にMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたレーザ素子に比較して、閾値電流密度が5%低下し、寿命は1.2倍以上であった。

【0061】【実施例2】実施例1において、n側光ガイド層6成長時に、不純物ガスにシランを流し、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNを0.2 μm の膜厚で成長させる他は実施例1と同様にしてレーザ素子を得たところ、実施例1とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が作製できた。

【0062】【実施例3】実施例1において、p側光ガイド層9成長時に、不純物ガスにCp2Mgを流し、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNを0.2 μm の膜厚で成長させる他は実施例1と同様にしてレーザ素子を得たところ、実施例1とほぼ同等の特性を有するレーザ素子が作製できた。

【0063】【実施例4】実施例1において、n側クラッド層5成長時に、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型A10.20Ga0.80NよりなるA層を20オングストロームと、アンドープのGaNよりなるB層を20オングストローム成長させて、このペアを125回成長させ、総膜厚0.5 μm （5000オングストローム）の超格子構造よりなるn側クラッド層5を成長させる他は実施例1と同様にしてレーザ素子を得たところ、実施例1のものに比較して、若干閾値電流密度が低下し、寿命も長くなった。

【0064】【実施例5】実施例1において、p側クラッド層10成長時に、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型A10.20Ga0.80NよりなるA層を20オングストロームと、アンドープのGaNよりなるB層を20オングストローム成長させて、このペアを125回成長させ、総膜厚0.5 μm （5000オングストローム）の超格子構造よりなるp側クラッド層10を成長させる他は実施例1と同様にしてレーザ素子を得たところ、実施例1のものに比較して、若干閾値電流密度が低下し、寿命も長くなった。

【0065】【実施例6】実施例1において、n側クラッド層5成長時に、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型A10.20Ga0.80NよりなるA層を20オングストロームと、アンドープのGaNよりなるB層を20オ

グストローム成長させて、このペアを125回成長させ、総膜厚0.5 μm （5000オングストローム）の超格子構造よりなるn側クラッド層5を成長させ、また、p側クラッド層10成長時に、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型A10.20Ga0.80NよりなるA層を20オングストロームと、アンドープのGaNよりなるB層を20オングストローム成長させて、このペアを125回成長させ、総膜厚0.5 μm （5000オングストローム）の超格子構造よりなるn側クラッド層10を成長させる他は実施例1と同様にしてレーザ素子を得たところ、実施例1のものに比較して、若干閾値電流密度が低下し、寿命も長くなった。

【0066】【実施例7】実施例1において、n側クラッド層5成長時に、Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるB層を20オングストロームと、アンドープのA10.20Ga0.80NよりなるA層を20オングストローム成長させて、このペアを125回成長させ、総膜厚0.5 μm （5000オングストローム）の超格子構造よりなるn側クラッド層5を成長させ、また、p側クラッド層10成長時に、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるB層を20オングストロームと、アンドープのA10.20Ga0.80NよりなるA層を20オングストローム成長させて、このペアを125回成長させ、総膜厚0.5 μm （5000オングストローム）の超格子構造よりなるp側クラッド層10を成長させる他は実施例1と同様にしてレーザ素子を得たところ、実施例1のものに比較して、若干閾値電流密度が低下し、寿命も長くなった。

【0067】

【発明の効果】ヘテロエピタキシャル成長される窒化物半導体は、他の材料に比べて、基本的に結晶欠陥が多い。しかしながら、本発明によると、活性層とn型不純物がドープされた窒化物半導体層との間、及び／又は活性層とp型不純物がドープされた窒化物半導体層との間に、アンドープの窒化物半導体層を有することにより、アンドープ層が結晶欠陥をその層で改善するような作用があるため、窒化物半導体素子の結晶欠陥を少なくすると考えられる。そのためレーザ素子のような過酷な条件で使用する半導体素子に本発明を適用すると、素子自体の寿命を向上させることができる。さらにレーザ素子ではアンドープ層の導波性が良くなるために閾値を低下させることもできる。

【0068】なお、本明細書ではレーザ素子について説明したが、本発明は窒化物半導体素子の結晶性を良くするためのものであるため、レーザ素子だけではなく、LED、受光素子等、窒化物半導体デバイスであればどのようなものにも適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る窒化物半導体素子の構造を示す模式断面図である。

【符号の説明】

- 1 基板
 2 第1のバッファ層
 2' 第2のバッファ層
 3 n側コンタクト層
 4 クラック防止層
 5 n側クラッド層
 6 n側光ガイド層
 7 活性層

- * 8 キャップ層
 9 p側光ガイド層
 10 p側クラッド層
 11 p側コンタクト層
 12 絶縁膜
 20 正電極
 21 パッド電極
 22 負電極
 * 23 ワイヤー

【図1】

